

## К ОЦЕНКЕ ГРАНИЧНЫХ УРОВНЕЙ КОНТРОЛИРУЕМОГО ПОКАЗАТЕЛЯ НАДЕЖНОСТИ

**Abstract.** If point estimation of controllable average operating time to failure is given in the engineering specifications, the acceptance  $T_\alpha$  and rejection  $T_\beta$  standards of controllable reliability index will be established in the work.

**Key words:** failure, mean time to failure, the distribution function of operating time, the risk of the supplier, the risk of the customer.

**Анотація.** У роботі встановлюються приймальний  $T_\alpha$  і браковочний  $T_\beta$  рівні контрольованого показника надійності, якщо в технічній документації вказується точкова оцінка контрольованого середнього напрацювання до відмови.

**Ключові слова:** відмова, середнє напрацювання до відмови, функція розподілу напрацювання, ризик постачальника, ризик замовника.

**Аннотация.** В работе устанавливаются приемочный  $T_\alpha$  и браковочный  $T_\beta$  уровни контролируемого показателя надежности, если в технической документации указывается точечная оценка контролируемой средней наработки до отказа.

**Ключевые слова:** отказ, средняя наработка до отказа, функция распределения наработки, риск поставщика, риск заказчика.

### 1. Введение

Основной целью контрольных испытаний является подтверждение или опровержение соответствия надежности партии продукции требованиям стандарта или технических условий. Контрольные испытания на надежность могут входить как составная часть в типовые, периодические и приемосдаточные испытания, основная цель которых сводится к проверке изделия на соответствие всем техническим требованиям.

По самой постановке задачи контрольные испытания должны строиться на противоречивых требованиях изготовителя партии и заказчика. Это обстоятельство накладывает определенный отпечаток на все вопросы, связанные с планированием и проведением контрольных испытаний. Заказчика, естественно, в первую очередь интересует обеспечение незначительной вероятности ошибки при положительном исходе испытаний. В случае, когда партия принимается, заказчику необходима высокая степень уверенности в том, что данное решение правильно. С другой стороны, изготовитель, чтобы обеспечить себе благоприятные условия сдачи годной продукции, вынужден при производстве изделий добиваться значительно более высокого уровня надежности, чем требуемый по техническим условиям и стандартам.

Чтобы учесть одновременно интересы изготовителя и заказчика, исходные данные для планирования контрольных испытаний задают в виде двух уровней надежности. При этом устанавливаются два значения показателя надежности изделий, в частности, при контроле средней наработки до отказа: приемочный  $T_\alpha$  и браковочный  $T_\beta$ . Устанавливаются также два показателя достоверности контрольных испытаний:  $\alpha$  – вероятность браковки партии с надежностью  $T_u \geq T_\alpha$  (риск изготовителя), здесь  $T_u$  – истинное значение средней наработки до отказа,  $\beta$  – вероятность приемки партии с надежностью  $T_u \leq T_\beta$  (риск заказчика).

## 2. Состояние проблемы

В настоящее время в технической документации указывается, как правило, точечная оценка показателя надежности ( $T_0$ ), который подлежит проверке при контрольных испытаниях на надежность. До сих пор в существующих нормативных документах, в том числе в стандартах по контрольным испытаниям, нет единого мнения о размещении интервала ( $T_\beta, T_\alpha$ ). Например, в некоторых нормативных документах по контрольным испытаниям [1] в качестве браковочного уровня  $T_\beta$  рекомендуется принимать значение показателя надежности  $T_0$ , заданное в технической

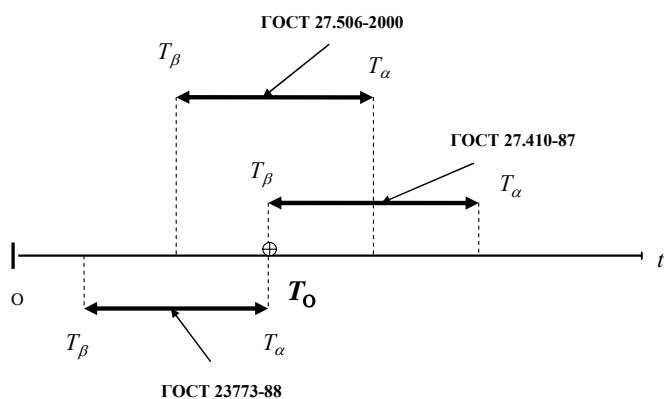


Рис. 1. Границы приемочного и браковочного уровней контролируемой средней наработки до отказа

документации, то есть интервал ( $T_\beta, T_\alpha$ ) смещен вправо относительно контролируемого уровня. В других нормативных документах [2] ожидаемое (контролируемое) значение показателя надежности, установленное в технической документации, принимают в качестве приемочного значения ( $T_\alpha = T_0$ ), то есть интервал ( $T_\beta, T_\alpha$ ) смещен влево относительно контролируемого уровня (рис. 1).

Необходимо отметить, что принятие значения контролируемого показателя надежности  $T_0$ , установленного в технической документации в качестве одной из границ интервала ( $T_\beta, T_\alpha$ ), неверно с теоретической точки зрения и приводит к нежелательным последствиям. Если интервал ( $T_\beta, T_\alpha$ ) смещен влево относительно  $T_0$ , то это заведомо обеспечивает принятие порядка 50% изделий с уровнем надежности ниже контролируемого. Если принятый интервал ( $T_\beta, T_\alpha$ ) смещен вправо относительно контролируемого значения, то в таком случае, по сути, принимается и контролируется существенно завышенный уровень надежности, который требует увеличения объема испытаний.

Очевидно, что доверительный интервал ( $T_\beta, T_\alpha$ ) должен размещаться относительно  $T_0$ . Такое размещение приемочного и браковочного уровней принято в стандарте [3].

## 3. Определение граничных уровней

Определение расположения доверительного интервала осуществляется на основе использования функции распределения контролируемого показателя (или достаточной статистики). Если в качестве теоретической модели распределения наработки (ресурса) изделий применяются,

например, диффузионные распределения, то, используя свойства этих распределений, получают следующие оценки границ интервала.

Если принята гипотеза, что распределение времени наработки до отказа (на отказ) описывается  $DM$ -распределением, тогда распределение контролируемого показателя  $T_0$  типа «средняя наработка до отказа» можно записать в следующем виде [4]:

$$F(T_0) = DM\left(t; T_0, \frac{\nu}{\sqrt{r}}\right) = \Phi\left(\frac{t - T_0}{\nu \sqrt{t T_0 / r}}\right), \quad (1)$$

где  $\Phi(\cdot)$  – функция нормированного нормального распределения,  $r$  – минимально необходимое число отказов, которое устанавливается исходя из требований достоверности контроля,  $t, \nu$  – соответственно наработка и параметр формы распределения (коэффициент вариации).

На основании функции распределения контролируемого показателя (1) можно записать:

$$T_\alpha = T_0 \left( 1 + \frac{\nu^2 U_\alpha^2}{2r} - \frac{\nu U_\alpha}{2\sqrt{r}} \sqrt{4 + \frac{\nu^2 U_\alpha^2}{r}} \right), \quad (2)$$

$$T_\beta = T_0 \left( 1 + \frac{\nu^2 U_\beta^2}{2r} + \frac{\nu U_\beta}{2\sqrt{r}} \sqrt{4 + \frac{\nu^2 U_\beta^2}{r}} \right). \quad (3)$$

При  $\alpha = \beta$ :

$$T_\alpha \cdot T_\beta = T_0^2 \left( 1 + \frac{\nu^2 U_\alpha^2}{2r} - \frac{\nu U_\alpha}{2\sqrt{r}} \sqrt{4 + \frac{\nu^2 U_\alpha^2}{r}} \right) \cdot \left( 1 + \frac{\nu^2 U_\beta^2}{2r} + \frac{\nu U_\beta}{2\sqrt{r}} \sqrt{4 + \frac{\nu^2 U_\beta^2}{r}} \right) = T_0^2. \quad (4)$$

В практике контрольных испытаний обычно используют коэффициент  $D$ , представляющий собой отношение приемочного уровня к браковочному  $D = \frac{T_\alpha}{T_\beta}$ . Используя этот коэффициент, из уравнения (4) получают соотношения:

$$T_\alpha = T_0 \sqrt{D}, \quad T_\beta = \frac{T_0}{\sqrt{D}}. \quad (5)$$

Если в качестве теоретической модели распределения наработки использовать  $DN$ -распределение, то функция распределения контролируемого среднего показателя надежности как выборочного среднего значения описывается следующим выражением [4]:

$$F(T_0) = DN\left(t; T_0, \frac{\nu}{\sqrt{r}}\right) = \Phi\left(\frac{t - T_0}{\nu \sqrt{t T_0 / r}}\right) + \exp\left(\frac{2r}{\nu^2}\right) \cdot \Phi\left(-\frac{t + T_0}{\nu \sqrt{t T_0 / r}}\right). \quad (6)$$

Из последнего распределения (6), где обозначения параметров прежние аналогично (2) и (3), можно записать аналитические выражения для определения приемочного и браковочного значений:

$$T_{\alpha} = T_0 \cdot x \left( 1 - \alpha; \frac{\nu}{\sqrt{r}} \right), \quad (7)$$

$$T_{\beta} = T_0 \cdot x \left( \beta; \frac{\nu}{\sqrt{r}} \right). \quad (8)$$

В последних уравнениях  $x(F; \nu)$  – относительная величина ( $T_{\alpha}/T_0$  или  $T_{\beta}/T_0$ ), которая может быть определена, например, из соответствующих таблиц  $DN$ -распределения по значениям  $F$  и  $\nu$  или решая следующее уравнение:

$$\Phi \left( \frac{x-1}{\nu \sqrt{x}} \right) + \exp \left( \frac{2}{\nu^2} \right) \cdot \Phi \left( -\frac{x+1}{\nu \sqrt{x}} \right) = F.$$

#### 4. Заключение

Сравнивая оценки приемочного  $T_{\alpha}$  (формулы (2) и (7)) и браковочного значений  $T_{\beta}$  (формулы (3) и (8)), необходимо отметить, что, несмотря на их различные выражения, оценки получаются достаточно близкими. Установлено, что при экспериментальной оценке параметров диффузионных распределений оценки показателей надежности на их основе получаются достаточно близкими. И чем больше статистика, тем большее совпадение оценок показателей надежности. В дальнейшем в качестве оценок граничных уровней ( $T_{\alpha}, T_{\beta}$ ) рекомендуется использовать достаточно простые оценки (5).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 27.410-87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность. – Введ. 01.01.89. – Москва: Издательство стандартов, 1987. – 85 с.
2. ГОСТ 23773-88. Машины вычислительные электронные цифровые общего назначения. Методы испытаний. – Введ. 01.07.89. – Москва: Издательство стандартов, 1988. – 41 с.
3. ГОСТ 27.506-2000. Надежность в технике. Планы испытаний для контроля средней наработки до отказа (на отказ). – Ч. 2: Диффузионное распределение. – Введ. 01.07.2001. – Киев: Госстандарт Украины, 2001. – 30 с.
4. Стрельников В.П. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем / В.П. Стрельников, А.В. Федухин. – К.: Логос, 2002. – 486 с.

*Стаття надійшла до редакції 07.04.2010*